

**PROPOSITION DE SUJET DE POST DOCTORAT 2018/2019
AU CENTRE DES MATERIAUX
DE L'ÉCOLE DES MINES DE PARIS EN COLLABORATION AVEC ESI GROUP**

Titre :

en français : Simulation numérique du procédé de fusion de lit de poudre dans les alliages métalliques

en anglais : **Numerical modeling of selective laser melting process in metallic alloys**

Mots clés - keywords

en français : Fabrication Additive, Simulation Numérique, Alliages Métalliques

en anglais : **Additive Manufacturing, Numerical Modeling, Metallic Alloys**

Cadre du poste : FUI

Encadrement Académique : Matthieu Mazière et Djamel Missoum

Encadrement Industriel : Philippe Gélenne

Duration : 18 mois (months)

Salary : 35000 € brut/an (gross income by year)

Contract type : CDD (fixed-term contract)

Présentation des entités encadrantes

En français

Centre des matériaux de l'école des Mines de Paris : Encadrement académique

Le Centre des Matériaux situé à Evry (35 km au sud de Paris) est un laboratoire associé au CNRS (UMR 7633) qui emploie environ 181 personnes dont 38 enseignants-chercheurs, 38 ITA, 82 doctorants et 10 post-doctorants. Les recherches concernent l'élaboration, la caractérisation microstructurale, les études expérimentales du comportement des matériaux, la modélisation et la simulation numérique. Elles sont réalisées en étroite collaboration contractuelle avec des partenaires industriels.

ESI Group – Département R&D Additive Manufacturing : Encadrement industriel

ESI Group est le principal créateur mondial de logiciels et services de Prototypage Virtuel. Spécialiste en physique des matériaux, ESI a développé un savoir-faire unique

afin d'aider les industriels à remplacer les prototypes réels par des prototypes virtuels, leur permettant de fabriquer puis de tester virtuellement leurs futurs produits et d'en assurer leur pré-certification. Couplé aux technologies de dernière génération, le Prototypage Virtuel s'inscrit désormais dans une approche plus large du *Product Performance Lifecycle™*, qui adresse la performance opérationnelle du produit tout au long de son cycle de vie complet de fonctionnement, du lancement au retrait. La création de *Jumeaux Hybrides (Hybrid Twin™)* intégrant à la fois la simulation, la physique et l'analyse de données permet de créer des produits intelligents, notamment avec les objets connectés, de prédire leur performance et d'anticiper leurs besoins de maintenance. ESI est présent dans quasiment tous les secteurs industriels et emploie aujourd'hui plus de 1200 spécialistes de haut-niveau à travers le monde, au service de ses clients répartis dans plus de 40 pays.

En anglais

Centre des matériaux de l'école des Mines de Paris : Academic Management

The Centre des Matériaux located in Evry (35km south of Paris) is a laboratory associated with the CNRS, employing around 181 people including 38 researchers, 38 technicians, 82 PhD students and 10 Post-Doctoral researchers. Research concerns materials processing and surface modification, the microstructural characterization and experimental study of the behaviour of materials. These studies are carried out in close contractual collaboration with industrial partners.

ESI Group – Additive Manufacturing R&D Department: Industrial Management

ESI Group is a leading innovator in Virtual Prototyping software and services. Specialist in material physics, ESI has developed a unique proficiency in helping industrial manufacturers replace physical prototypes by virtual prototypes, allowing them to virtually manufacture, assemble, test and pre-certify their future products. Coupled with the latest technologies, Virtual Prototyping is now anchored in the wider concept of the *Product Performance Lifecycle™*, which addresses the operational performance of a product during its entire lifecycle, from launch to disposal. The creation of a *Hybrid Twin™*, leveraging simulation, physics and data analytics, enables manufacturers to deliver smarter and connected products, to predict product performance and to anticipate maintenance needs. Today, ESI's customer base spans nearly every industry sector. The company employs about 1200 high-level specialists worldwide to address the needs of customers in more than 40 countries.

Objectif des travaux de Post-Doctorat

La simulation numérique des procédés de fabrication additive est un enjeu majeur pour le développement industriel de ces nouvelles méthodes de production. Le rôle principal de la simulation est de permettre une connaissance *a priori* de la santé matière du composant après fabrication pour un jeu de paramètres procédé donné. Cette santé matière est le résultat d'une maîtrise de l'apparition de défauts à la fois lors de la répartition des couches de poudre mais aussi lors de la fusion de la poudre. Pour cela il

est nécessaire de mieux comprendre quels phénomènes physiques entrent en jeu mais aussi comment leur couplage peut altérer les propriétés mécaniques du matériau.

Pour remplir cet objectif ESI Group a développé une solution multi-échelle, multi-physique capable d'adresser l'ensemble des phénomènes physiques du procédé lit de poudre. Parmi les différents modules de la solution, deux modules seront utilisés pour répondre à l'objectif de prédiction de la santé matière. Le module dit *Spreading* est dédié à la simulation de répartition de poudres. A partir des paramètres machines mais aussi de la distribution granulométrique de la poudre, il permet de calculer la nouvelle répartition de poudre déposée et d'en déduire des taux de compaction. Le module dit *Melting* s'intéresse quant à lui à la modélisation des phénomènes de transfert d'énergie entre le laser et la poudre. Le calcul des écoulements dans le bain de fusion permet d'analyser la stabilité du bain, la forme des cordons déposés et prédire la porosité ou l'état de surface du composant fabriqué. Enfin, le calcul du champ de température dans le bain permet de déterminer les vitesses de fusion et solidification. Ces données, couplées à des modèles métallurgiques visent à prédire la structure métallurgique dans la pièce.

Le projet postdoctoral consistera dans un premier temps à réaliser une étude bibliographique pour répertorier les défauts générés par le procédé de fabrication additive lit de poudre (défauts de fissuration, de porosité, d'état de surface, d'agglomérations de grains, etc.). Une classification de ces défauts en fonction du matériau et des paramètres procédés devra être réalisée pour guider les travaux qui suivront. En parallèle avec cette première tâche, un modèle numérique sera mise en œuvre reflétant les connaissances expérimentales prenant en compte les l'état de l'art des partenaires sur les phénomènes associés à la fusion des particules.

Dans un second temps, des analyses expérimentales sur une machine ouverte et instrumentée seront réalisées au Centre des Matériaux (ARMINES). En s'appuyant sur les mesures in-situ et post-fabrication, une étude paramétrique sur l'apparition de défauts sera réalisée. La corrélation avec la défauthèque enrichie des nouvelles données expérimentales permettra de développer la capacité des modèles physiques à révéler ces défauts. L'objectif final étant de pouvoir révéler ces défauts à partir de la définition des trajectoires laser (paramètres procédé), de la connaissance du matériau et de la granulométrie de la poudre.

Site de travail : 80 % Centre des Matériaux – 20 % ESI Group

Conditions restrictives sur les candidatures : néant

Expérience souhaitée / profil :

Le candidat doit être ingénieur de recherche et titulaire d'un doctorat en mécanique numérique avec une application aux procédés de mise en forme des matériaux. Une spécialisation sur le procédé de fabrication additive serait un plus ainsi que des connaissances en thermo-mécanique, mécanique des fluides et métallurgie.

Une maîtrise des modèles éléments finis ou volumes finis est nécessaire pour mettre au

point de nouvelles méthodologies de modélisation de défauts. Le candidat doit par ailleurs être à l'aise avec les moyens de mesures expérimentaux et faire preuve d'un sens de l'analyse et de la synthèse dans la manipulation de données.

RELATIONS CONTRACTUELLES : ESI Group

Références bibliographiques/References:

M. Megahed, H.-W. Mindt, N. N'Dri, H.-Z. Duan and O. Desmaison, "Metal Additive Manufacturing Process and Residual Stress Modelling," *Integrating Materials and Manufacturing Innovation*, 5:4 2016.

H.-W. Mindt, M. Megahed, N. P. Lavery, M. A. Holmes and S. R. Brown, "Powder bed layer characteristics: The overseen first-order process input," *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 47, no. 8, 2016.

Le dossier de candidature comportant :

- un curriculum vitae détaillé
- une lettre de motivation
- lettres de recommandations et les noms, les coordonnées d'au moins deux personnes pouvant être contactées pour recommandation

doit être envoyé à :

- philippe.gelenne@esi-group.com
- djamel.missoum-benziane@mines-paristech.fr

Applicants should supply the following :

- a detailed resume
- a covering letter explaining the applicant's motivation for the position
- detailed exam results
- two references : the name and contact details of at least two people who could be contacted to provide an appreciation of the candidate

to be sent to :

- philippe.gelenne@esi-group.com
- djamel.missoum-benziane@mines-paristech.fr